

Conference Paper, Published Version

Martin, Helmut

Sohlenbelastung und Sohlensicherung

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103978>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Martin, Helmut (2002): Sohlenbelastung und Sohlensicherung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Ehrenkolloquium Univ.-Prof. Dr.-ing. habil. Harold Wagner. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 23. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 86-95.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Zweisäuler als Sohlenbefestigung

Besonders intensive Belastungen der Gewässersohle sind im Aufstopfbereich von Großschiffen feststellbar. Als Reaktionswirkung der behinderten Zuströmung zur Schiffsschraube entstehen dort bedeutende Sogkräfte.

Solche Bedingungen sind an den Fährschiffliegegestellen in Mukran (Ostküste Rügens) vorhanden.

Zur Wahl der notwendigen Sohlenbefestigung wurden Modellversuche durchgeführt.

Sie beinhalteten u. a. den Vergleich der Abpflasterung mit Betonwürfeln und einer dichtgestellten, einlagigen Zweisäulerbefestigung. Beide Modellkörper hatten gleiches Volumen und gleiches Gewicht. Die Untersuchungen ergaben, dass das Betonwürfelpflaster bei 80 % der Nenndrehzahl des maßstäblich nachgebildeten Modellschiffes zerstört wurde. Dagegen konnte bei der maximal erreichbaren Drehzahl (120 % der Nenndrehzahl der Maschine) noch keine Beschädigung der Zweisäulerabdeckung festgestellt werden.

Wird davon ausgegangen, dass die Saugstrahlgeschwindigkeit direkt proportional zur Drehzahl ist und dass darüber hinaus die notwendige Materialgröße vom Quadrat der Geschwindigkeit bestimmt wird, so müssen die den Zweisäulern äquivalenten Würfel mehr als das 11-fache Volumen und Gewicht aufweisen.

Für eine vorgegebene Befestigungsfläche benötigt der Zweisäulereinsatz damit nur ca. 23 % der Betonmenge einer Betonquaderpflasterung.



Bild 1: Fährschiffmodell bei An- und Ablegemanövern am Liegeplatz (Modellmaßstab 1:24)



Bild 2: Zerstörungserscheinungen der Sohlbefestigung am Fährschiff liegeplatz. Bei Strömungsbelastungen, erzeugt mit 80 % der Schraubennendrehzahl, wurden Betonquader aus dem Verband herausgehoben.

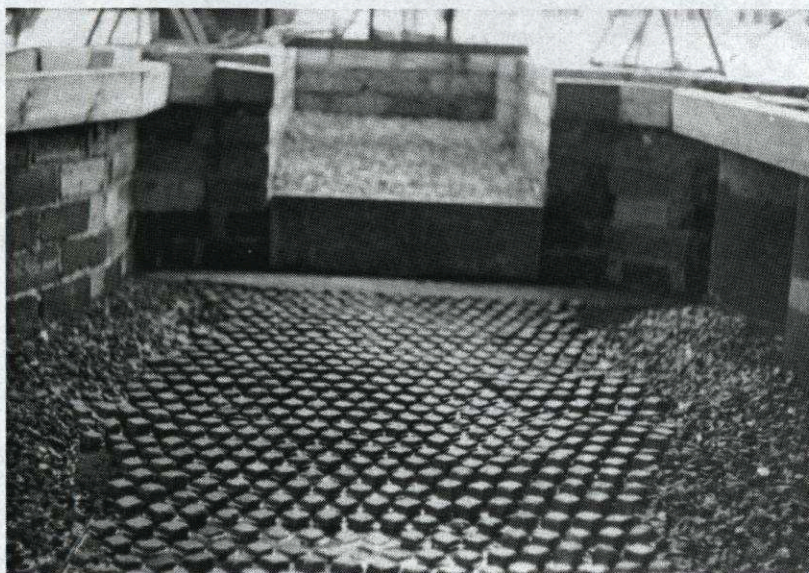


Bild 3: Nach Strömungsbelastungen mit ca. 120 % der Schraubennendrehzahl unbeschädigte Sohlenbefestigung mit Zweisäulern

Propellerstrahl

Bei der Bestimmung der von einer Schiffsschraube indizierten Strahlgeschwindigkeit c ist die Kenntnis des Schubbeiwertes K_T von maßgebender Bedeutung.

$$c = n \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{8}{\pi} \cdot K_T} \cdot \left(2 \cdot \frac{v_e}{c} + 1 \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$c_0 = 1,6 \cdot n \cdot D_p \cdot \sqrt{K_{T0}}$$

mit c_0 ... indizierte Strahlgeschwindigkeit bei Fortschrittsgrad $J = 0$
 D_p ... Propellerdurchmesser
 n ... Drehzahl
 v_e ... Eintrittsgeschwindigkeit

Der Schubbeiwert wird grundsätzlich experimentell mit Freifahrt diagrammen ermittelt.

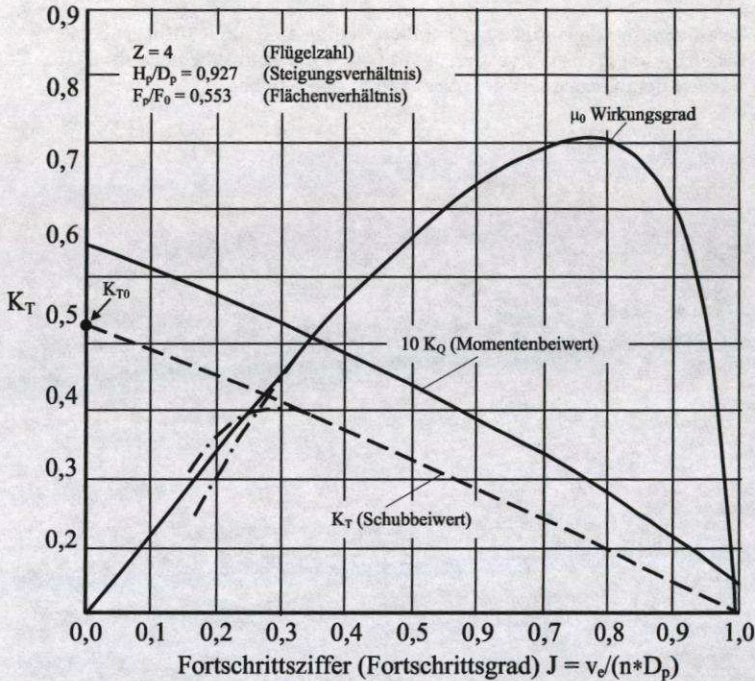
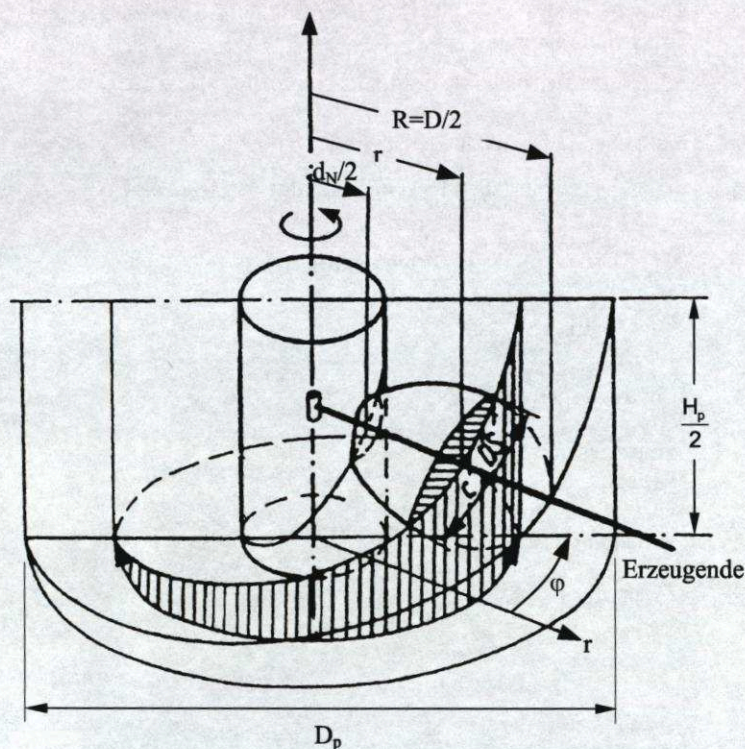


Bild 1: Freifahrt diagramm eines Propellers

K_{T_0} ... Schubbeiwert bei $J = 0$

$$K_{T_0} \cong \left(0,1 + 0,7 \cdot \frac{F_p}{F_0} \right) \cdot \frac{H_p}{D_p} - 0,35 \cdot \frac{F_p}{F_0} + 0,15$$


$$\frac{H_p}{D_c} \dots \text{Steigungsverhältnis}$$

Standssicheres Steinmaterial unter den Schwingungsknoten der Wellenreflexion vor einer senkrechten Mole

Notwendiger Bruchsteindurchmesser d_s :

$$d_s \geq \frac{0,228 \cdot (1 + \mu)}{\frac{\rho_A}{\rho} \cdot \mu - \frac{0,75}{g} \cdot (1 + \mu) \cdot a_{xm}} \cdot \frac{v_{xm}^2}{g}$$

mit μ ... Tangens des Winkels der inneren Reibung; für Bruchsteinmaterial $\mu \cong 0,84$

$\frac{\rho_A}{\rho}$... relative Auftriebsdichte des Bruchsteinmaterials; $\frac{\rho_A}{\rho} \cong 1,65$

v_{xm} ... maßgebende Horizontalgeschwindigkeit; $v_{xm} = 2 \cdot k \cdot A^* \cdot \cos(\omega \cdot t)$

a_{xm} ... maßgebende Horizontalbeschleunigung; $a_{xm} = -2 \cdot \omega \cdot k \cdot A^* \cdot \sin(\omega \cdot t)$

A^* ... Potentialkonstante; $A^* = \frac{\omega \cdot H}{2 \cdot k \cdot \sinh(k \cdot h)}$

k ... Wellenzahl; $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$

ω ... Schwingungsfrequenz, $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$

T ... Wellenperiode

H ... Wellenhöhe

h ... Wassertiefe

λ ... Wellenlänge

Plattenkonstruktionen zum selbsttätigen Randkolkverbau

Sohlensicherungen werden überwiegend aus Schüttungen von Natursteinen und Betonblöcken mit Filterunterbau, als Mattenkonstruktionen, als Plattenbauweisen und schließlich als Abdeckungen mit Unterwasserbeton ausgeführt.

In vielen Fällen ist dabei die Sicherung gegen Randkolke das entscheidende Problem, weil von dieser Schwachstelle ausgehend auch eine sonst standsichere Sohlenbefestigung innerhalb kurzer Zeit zerstört werden kann.

Nur bei örtlich begrenzten Belastungsgebieten und unter der Forderung, dass überhaupt keine Sohlenformationen zugelassen werden dürfen, ist es mit Mehraufwand praktikierbar, die jeweils ausgewählte Sohlenbefestigung über die eigentlich notwendige Grenze hinaus bis in relativ ungefährdete Bereiche zu ziehen, um so die Randzonen zu sichern. In allen anderen Fällen muss stets ein aufwendiger Kolkverbau vorgesehen werden.

Möglichkeiten dazu bestehen prinzipiell in kostenaufwendigen, tiefgegründeten, senkrechten Abschlussbaumaßnahmen, beispielsweise durch eine Spundwandanordnung sowie mit flexiblen Konstruktionen, die sich der Bauwerksseite des Kolkprofils anpassen und den Kolk in einen vorgesehenen, für das Bauwerk ungefährdeten Zustand absichern.

Solche flexiblen Bauweisen sind mit gewissen Einschränkungen Steinschüttungen sowie materialgefüllte Mattenkonstruktionen aus Gewebe und Maschendraht.

Steinschüttungen zur Sohlensicherung sind meist einfach ausführbare aber stets materialaufwendige und stets teure Konstruktionen, die relativ große Bauhöhen erfordern. Bei entstehenden Randkolken fallen zunächst die äußeren Elemente

der Sohlensicherung in das sich ausbildende Kolkthal. Reicht dann die Stabilität der im Kolk liegenden Einzelelemente aus, um bei der jeweils vorherrschenden Belastung nicht längsversetzt zu werden, so bauen sich allmählich, einhergehend mit

dem weiteren Abbruch bzw. der Umarbeitung der Sohlensicherung Abpflasterungserscheinungen auf. Diese Abpflasterungserscheinungen vermindern die weitere Kolkentwicklung in Richtung des zu schützenden Bauwerkes und können bei ausreichend vorhandenem Steinmaterial auch das Erreichen eines stabilen Zustandes garantieren. Die Bevorratung mit einem ausreichendem Steinvolumen ist aber problematisch, weil sich einerseits die Kolkdimensionen nur schwer abschätzen lassen und weil andererseits auch die Unterbringung des zusätzlichen Materials die nutzbare Wassertiefe reduziert. Bei technisch erzeugten Belastungen, beispielsweise durch den Schraubenstrahl eines Schiffes, ist es, wenn auch mit Nutzungseinbußen, möglich, die Kolkausbildung bei entsprechenden Beobachtungen in einem noch nicht kritischen Zustand zu unterbrechen und dann kolksichernde Nachschüttungen anzuordnen. Demgegenüber wird bei naturbedingten, nicht

steuerbaren Belastungsereignissen eine solche Handhabung risikobehaftet, weil schon durch eine einzige Belastungssituation die gesamte Sicherung vom Rand her zerstört und funktionsunfähig gemacht werden kann.

Materialgefüllte Mattenkonstruktionen aus Gewebe und Maschendraht weisen gegenüber Steinschüttungen wesentlich geringere Bauhöhen und neben auch sonst erhöhter Stabilität bedeutend größere Randstandsicherheiten auf. Die Probleme bei diesen Befestigungsarten liegen in der Herstellungs- und Verlegetechnologie ausreichend großer und schwerer Matten sowie in der Verschleißfestigkeit des Mattenmaterials bei Belastung durch physikalische und chemische Faktoren.

Eine funktionsgerechte Sicherung auch von stark belasteten Randzonen wurde in der Entwicklung besonderer Betonplattenkonstruktionen zum selbsttätigen Randkolkverbau gesehen.

Diese Konstruktion sollte folgende Vorteile vereinen:

- geringer Materialeinsatz und geringe Bauhöhen der Befestigung,
- industrielle Vorfertigung relativ einfacher Betonelemente,
- Montagebauweise und damit zügiger Bauablauf,
- Anpassungsfähigkeit der Befestigung an vorhandene Bodenunebenheiten,
- Lastverteilung bei Mitwirkung von Nachbarelementen durch flächensichernde Verbindungen,
- Hohe Dauerfestigkeit der Sicherungsmaßnahme auch im aggressiven Seewasser bei Sandschliff und anderen mechanischen Belastungen.

Vorgeschlagen wurden solche Konstruktionen als

- Koppelplatte (PS 248477 A3, WPE 02B/273 1268)
- Hakenplatte (PS 225743 A1, WPE 02B/265 0162)
- Gitterdoppelplatte (PS 271138 A1, WPE 02B/314 1632)
- Gelenkplatte (PS 258433 A1, WPE 02B/300 6304)

Die folgenden Abbildungen zeigen Ausführungsvarianten der Koppelplatte.

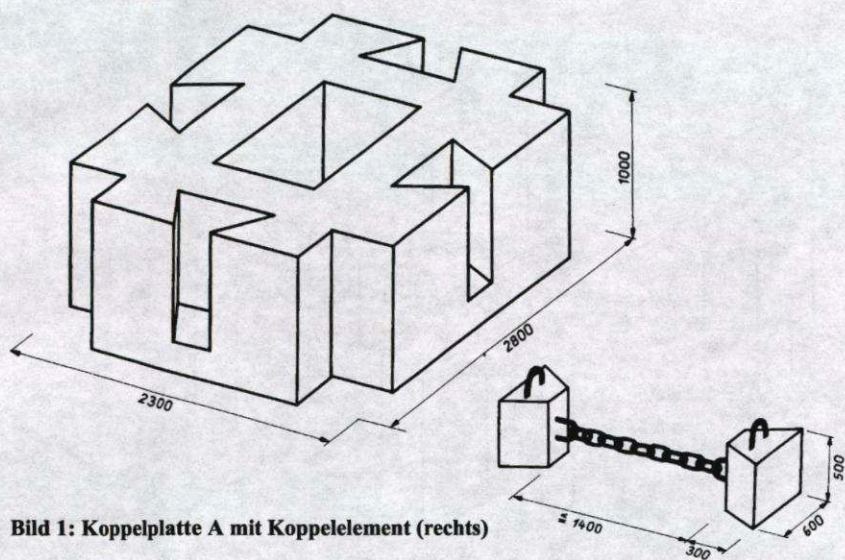


Bild 1: Koppelplatte A mit Koppelement (rechts)

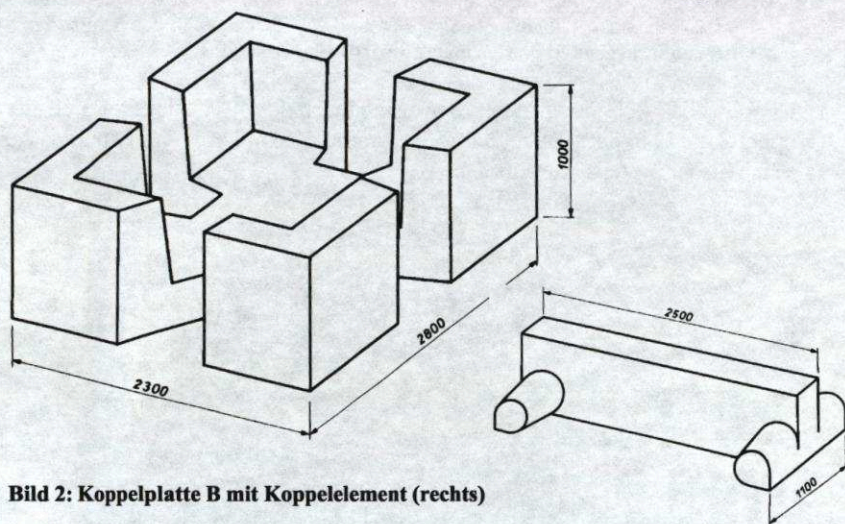


Bild 2: Koppelplatte B mit Koppelement (rechts)

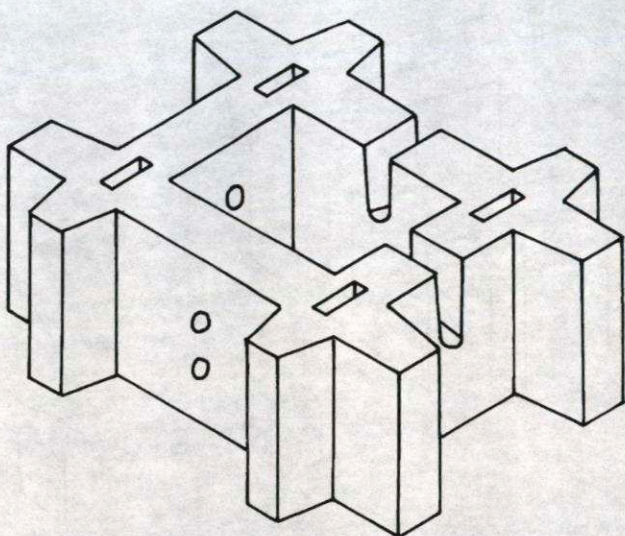


Bild 3: Koppelplatte C (nicht abgebildet: Ketten- Ringelement, was im unteren der kreisrunden Durchbrüche befestigt ist und von Tauchern in den Schlitz der gegenüberliegenden Platte eingelegt wird)

Die folgende Abbildung zeigt den Einbau und ein Verlegebeispiel der Koppelplatte C in den Luvbereich der Nordmole des Fährhafens Mukran, wo sie sich bisher bestens bewährt hat.

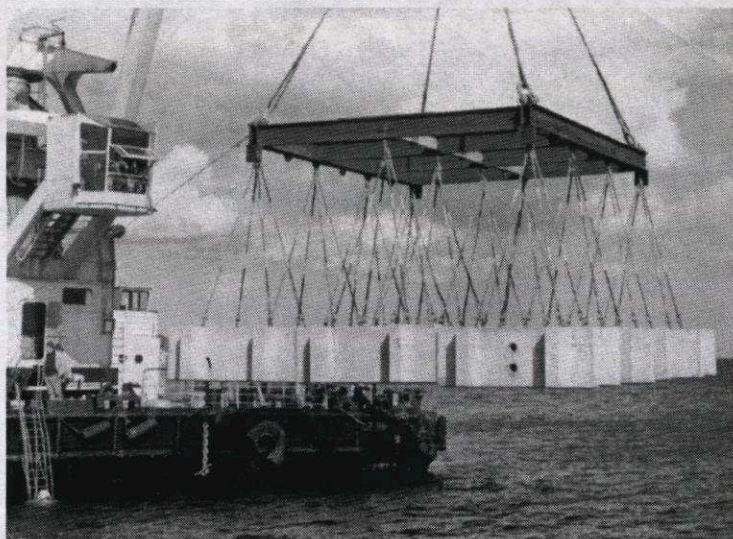


Bild 4: Verlegung der Koppelplatte C im Luvbereich der Nordmole des Fährhafens Mukran

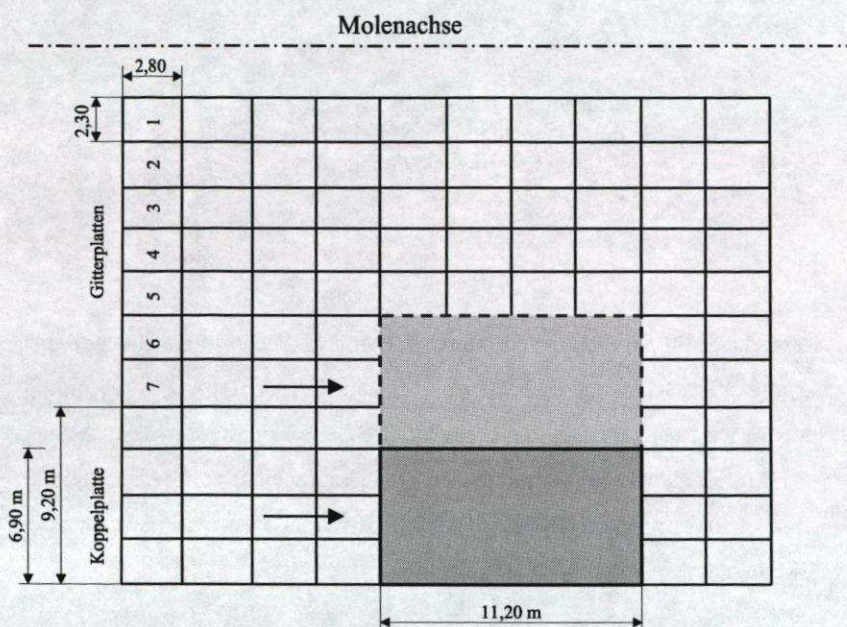


Bild 5: Verlegebeispiel der Koppelplatte C im Bereich der Nordmole des Fährhafens Mukran